©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes in Macchiengehölzen

(Thermoelektrische Messungen)

von

Ernst Rouschal

(Aus dem Pflanzenphysiologischen Institut der Universität Wien)

(Mit 6 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 10. Juni 1937)

Nach langem, heftigem Kampfe zwischen Kohäsionstheoretikern und ihren Gegnern wurde die Frage nach dem Prinzip des Saftsteigens zugunsten der Kohäsionstheorie entschieden. Damit war eine Ära im Erforschen des aufsteigenden Saftstromes in den Pflanzen abgeschlossen.

Mitten in eine neue Periode der Strömungsforschung hat uns Huber (1932, 1935, 1936) und seine Schule (Baumgartner 1934, Huber und Schmidt 1936, Riedel 1937) durch die thermoelektrischen Geschwindigkeitsmessungen des Transpirationsstromes versetzt. Huber selbst schreibt: »Nicht mehr das Prinzip, sondern die Mannigfaltigkeit des Vorganges gilt es zu untersuchen«. Vergleichende Messungen an verschiedenen Bäumen, das Studium der räumlichen Verteilung sowie der zeitlichen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit im Baume wurden zum Ziele der neuen Forschungsrichtung. Höchst interessante Ergebnisse kamen zutage. Besonders verblüffend waren die großen Geschwindigkeitsunterschiede zwischen ring- und zerstreutporigen Gehölzen (Huber 1935). Die Ringporigen mit ihren weiten Frühjahrsgefäßen weisen Saftsteigegeschwindigkeiten von 20 bis 45 *m/h* auf (*Quercus pedunculata* 43·6, *Robinia pseudacacia* 28·8, *Fraxinus excelsior* 25·7, *Castanea vesca* 24); die Transpirationsstromgeschwindigkeit der zerstreutporigen Gehölze beträgt hingegen nur 1 bis 6 *m/h*, also rund ein Zehntel der obigen (*Populus balsamifera* 6·25, *Juglans regia* 4·12, *Tilia tomentosa* 3·43, *Acer pseudoplatanus* 2·40, *Carpinus betulus* 1·25, *Fagus silvatica* 1·07).

Wie Huber zeigt, liegt in dieser Verschiedenheit nicht nur eine physiologisch bemerkenswerte Tatsache, sondern auch eine ökologisch bedeutsame, indem unter den laubabwerfenden in erster Linie die ringporigen Gehölze in Trockengebiete vorzudringen vermögen (*Robinie!* vgl. auch Stocker 1933, p. 835 f.), während die zerstreutporigen Sommergrünen meist mesophile Formen sind.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ich bin nun seit zwei Sommern beschäftigt, den Wasserhaushalt der Macchienpflanzen zu studieren. Es war naheliegend, auch die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes der immer- und sommergrünen Macchiengehölze messend zu verfolgen.

Die niedere Leitfähigkeit von *Quercus ilex*, wie sie schon Farmer (zitiert bei Huber 1925) feststellte, ferner die starke Entwicklung ihres Leitsystems (Huber 1925) ließen vermuten, daß ihre Strömungsgeschwindigkeit eine niedere sei. Auch für andere Macchiengehölze war dies nach den Leitflächenbestimmungen durch Firbas (1931) zu erwarten.

Wie nun aus den methodischen Ausführungen Huber's und vor allem Baumgartner's (1934) hervorgeht, sind aber Geschwindigkeiten unter 1 *cm/min* mit der »4-*cm*-Methode« nicht erfaßbar. Ein Näherrücken der Lötstellen an die Heizung ist durch rapidansteigende Störungen der direkten Wärmeleitung unmöglich. So scheiterten bisher alle Versuche, die Strömungsgeschwindigkeiten der Coniferen oder die nächtliche Durchströmung der Zerstreutporigen zu messen. Daß auch die 4-*cm*-Methode bei der Untersuchung der Macchiengehölze nicht ausreichen werde, vermutete Huber, so daß er noch 1935 schrieb: »Die Wasserleitung dieses Gehölztyps näher zu charakterisieren, ist eine Aufgabe der Zukunft«. Aber schon 1936 fand er durch seine neue »Kompensationsmethode« einen Ausweg aus dieser Zwangslage. Denn mit dieser Methode ist es nun möglich, auch viel kleinere Geschwindigkeiten zu ermitteln.

Um rasch über die methodischen Schwierigkeiten hinwegzukommen, nahm ich vor meiner Reise nach dem Süden einen kurzen Studienaufenthalt bei Prof. Huber in Tharandt. Hier wurde ich rasch durch Herrn Prof. Huber selbst sowie seinen Assistenten E. Schmidt in alle Einzelheiten und Feinheiten des thermoelektrischen Meßverfahrens eingeführt. Auch wurde ich schon damals mit der neuen Methode vertraut gemacht, die bis dahin noch nicht publiziert war. Gut gewappnet konnte ich dann die Untersuchungen der Macchiengehölze in Angriff nehmen.

Herrn Prof. Huber sei auch an dieser Stelle nochmals für sein liebenswürdiges Entgegenkommen und seine Bemühungen, vor allem aber auch für die vielen Ratschläge, die er mir für meine bevorstehende Arbeit erteilte, der ergebenste Dank ausgesprochen. Herzlich danke ich auch Herrn Kollegen E. Schmidt, der mir viele Stunden seiner Arbeits- und Freizeit widmete.

Über die 4-*cm*-Methode ist den Ausführungen Huber's sowie Baumgartner's nichts anzufügen, doch sei von der weniger ausführlich beschriebenen Kompensationsmethode kurz das Wesentlichste mitgeteilt. Die Anordnung der Lötstellen erfolgt bei dieser Methode oberhalb und unterhalb des Heizdrahtes,[1] und zwar liegt die untere der Heizung etwas näher als die obere (18, respektive 17 20 *mm*; vgl. Fig. 1). Schicken wir einige Sekunden lang Strom durch den Heizdraht und bringen dadurch das anliegende Gewebe auf eine höhere Temperatur, so

[1] Messungen pflanzlicher Saftströme mit ähnlicher Anordnung von zwei Elementen hat jüngst Dixon (1937) publiziert.

wird — gesetzt den Fall, es herrsche keine Wasserdurchströmung — die Wärme im Holz nach oben und unten gleichmäßig weitergeleitet. Die untere Lötstelle liegt näher, sie gewinnt daher einen Temperaturvorsprung gegenüber der oberen Lötstelle. Ein Linksgang des Galvanometerzeigers ist die Folge. Die Heizung erfolgt nicht dauernd, es tritt somit wieder eine Verringerung des Temperaturgefälles Heizstelle-Lötstelle ein. Da die untere Lötstelle nun im Verhältnis zur oberen (weiter entfernten) langsamer erwärmt wird, nimmt die Temperaturdifferenz zwischen beiden ab, der Galvanometerzeiger muß daher wieder nach rechts zurückkehren. Betrachten wir nun den Fall, daß gleichzeitig die Gefäße vom Transpirationsstrom durchsetzt werden, so muß infolge der Kombination von Wärmeleitung und -konvektion die aufsteigende Wärmewelle rascher zur oberen Lötstelle geführt werden als ohne Transpiration. Eine frühere Umkehr des Galvanometerzeigers vom Linksausschlag zum Rechtsausschlag muß erfolgen. Diese Beschleunigung der Umkehr ist das Maß für die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes. Methodisch verfährt man so, daß man zunächst an der durchströmten Pflanze die Zeit (t), gerechnet vom Beginn der Heizung bis zur Umkehr des Zeigers stoppt, nachträglich nur für die Wärmeleitung allein die Umkehrzeit (t_0) festlegt (erreichbar bei Unterdrückung der Transpiration durch Beregnung oder durch Abschneiden des Sprosses). Die Berechnung der Konvektion (v_k) erfolgt nach der Formel:

$$s = t\ (v_k + v_l) \qquad s = \text{Weg (20 } mm\text{)},$$

v_l = Geschwindigkeit bei reiner Wärmeleitung.

$$v_k = \frac{s}{t} - v_l$$

$$v_l = \frac{s}{t_0}$$

daher ist:

$$v_k = \frac{s}{t} - \frac{s}{t_0}\ cm/sec \text{ oder } \left(\frac{s}{t} - \frac{s}{t_0}\right) 3600\ cm/h.^1$$

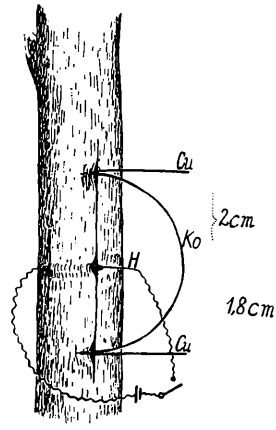

Fig. 1. Anordnung von Thermoelement und Heizdraht nach der Huber'schen Kompensationsmethode. *Cu* = Kupfer, *Ko* = Konstanten, *H* = Heizung.

Einige Bemerkungen, die sich speziell auf meine Untersuchungen der Macchienpflanzen beziehen, seien nun angeführt. Ich war bestrebt, womöglich für Stamm, Ast und Wurzel der einzelnen Gehölze die Geschwindigkeit zu bestimmen. Wie ich vorausahnte, lag eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit beim Einrichten der Meßstellen darin, daß sich im Sommer in vielen Fällen die Rinde nur sehr schwer lösen ließ. Dazu kam z. B. bei *Laurus-*, *Phillyrea-* und *Quercus*-Wurzel, daß die Rinde und Borke sehr spröd waren, so daß es viele Mühe kostete, gute Meßstellen zu bekommen.

Die Bestimmung des t_0 konnte ich, da mir naturgemäß in der Macchie keine Beregnungsanlage zur Verfügung stand, nur nach Abschneiden ermitteln. Bei einigen Gehölzen, die zur Mittagszeit Geschwindigkeiten über 1 *m/h* erreichten, versuchte ich auch, das v_0 zu berechnen, indem ich 4-*cm*- und Kompensationsanordnung zusammen mit einer gemeinsamen Heizung einrichtete und mittags während der höchsten Geschwindigkeiten möglichst knapp hintereinander mit beiden Methoden abwechselnd die Messung durchführte. Für diese Bestimmung war nun das v_k durch die 4-*cm*-Werte gegeben; somit war auch das v_l für Messungen, die allein mit der Kompensationsmethode ausgeführt wurden, aus der Formel: $v_k = \frac{s}{t} - v_l$ berechenbar. Bei *Quercus* fanden sich recht übereinstimmende Werte, bei *Pistacia terebinthus* dagegen differierten sie ziemlich stark.

---

[1] Die Formel wurde durch zahlreiche Modellversuche erprobt; vgl. Huber und Schmidt 2.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ehe wir nun auf die Strömungsmessungen selbst zu sprechen kommen, sei, soweit dies für uns von Bedeutung ist, auf die anatomischen Verhältnisse der Macchienhölzer hingewiesen. Huber (1925) schreibt: »Je mehr schon die Wasseraufnahme aus dem Boden die äußerste Anspannung der osmotischen Kräfte verlangt, desto wichtiger wird es für die Pflanze sein, die inneren Widerstände möglichst niedrig zu halten«. Zwei Möglichkeiten gibt es, dies zu erreichen: weite, lange Gefäße oder zwar enge, aber dann in recht großer Zahl. Mit anderen Worten, es kommt zur Bildung des ringporigen Typus oder aber des zerstreutporigen mit sehr großer Leitfläche.

In der Macchie finden sich hauptsächlich zerstreutporige Gehölze. Wie Huber, später Firbas zeigen konnten, weisen diese sehr große relative Leitflächen auf. Nach Huber (1925) übertrifft die zerstreutporige *Quercus ilex* die ringporige *Quercus robur* um das Fünffache an Leitfläche, sodaß wahrscheinlich auf diese Weise die größeren Widerstände der kleineren Gefäße ganz ausgeglichen werden. Auch eine Reihe anderer Macchienpflanzen übertrifft, wie recht anschaulich aus Firbas' graphischer Darstellung hervorgeht, die mitteleuropäischen Gehölze sehr an Leitungsquerschnitt.

Außer der summarischen Behandlung der Leitflächen ist es nach Huber's Befund der Geschwindigkeitsdifferenz bei ring- und zerstreutporigen Gehölzen naturgemäß von Interesse, über die Eingliederung der einzelnen Versuchspflanzen in diese oder jene Gruppe zu erfahren und auch ihre Gefäßweiten festzustellen. Für technisch wichtige Hölzer konnte ich zwar bereits in Wiesner's Rohstoffe (1927) Angaben über Porenanordnung und Gefäßweite finden, ich habe aber, um auch genaue Vergleichswerte zwischen Stamm- und

Tabelle 1.

Pflanzen	Holztypus		Gefäßweite in μ			
	Stamm	Wurzel	im Stamm		in der Wurzel	
			max.	mittl.	max.	mittl.
Quercus ilex	zerstreutporig	zerstreutporig	142	106	184	161
Fraxinus Ornus . . .	ringporig		176	162	159	119
Pistacia terebinthus	»		162·5	146·9	159	107·5
Rosa sempervirens .	zerstreutporig	—	119	80	—	—
Laurus nobilis . .	»	zerstreutporig	93·7	62·5	93·7	69·6
Arbutus Unedo . .			74	53	85·3	67
Pistacia lentiscus . .	ringporig		87	74·4	81	70·8
Phillyrea media . . .	zerstreutporig		48·3	39·8	76·6	46
Lonicera implexa . .		—	65·4	45·5	—	—
Olea europaea . .		zerstreutporig	65·5	45·4	45·5	39
Osyris alba . .	ringporig	—	62·5	50·3	—	—
Ligustrum vulgare .	»	—	59·7	45·5	—	—
Rhamnus alaternus	zerstreutporig	zerstreutporig	42·6	32·2	62·5	54
Spartium junceum .		—	54	42·6	—	—
Viburnum tinus .		—	34·1	25·8	—	—

Wurzelholz zu erhalten, die dort fehlen, selbst an Querschnitten nochmals Messungen durchgeführt und in der nebenstehenden Tabelle zusammengestellt. Von den Gefäßweiten sind Maximum- und Durchschnittswerte angeführt.

Die Tabelle zeigt uns vor allem, wie stark die Zahl der zerstreutporigen Gehölze in der Macchie vorherrscht. Unter den Immergrünen ist überhaupt nur der kleine *Harnstrauch* und die buschbildende *Pistacia lentiscus* im Stamm ringförmig gebaut. In beiden Fällen dürfte die Gefahr eines Zerreißens der Fäden trotz hoher Transpiration nicht sehr groß sein, da die Leitungsstrecke und somit die innere Reibung verhältnismäßig klein ist.

Auf die interessante Tatsache, daß die *Steineiche* im Gegensatz zu unseren einheimischen Eichen zerstreutporig ist, hat schon Wiesner hingewiesen. Sehr merkwürdig ist auch, daß in einigen Fällen das Bauprinzip in Stamm und Wurzel wechselt. So finden wir bei *Pistacia lentiscus* und den Sommergrünen *Pistacia terebinthus* und *Fraxinus Ornus* Ringporigkeit im Stamm, dagegen zerstreutporige Anordnung in der Wurzel. Derartige Verschiedenheit des Stamm- und Wurzelholzes hat auch Riedel (1937) an heimischen Eichen festgestellt.

Die Gefäßweiten sind durchschnittlich 50 bis 90 μ groß, 100 μ übersteigt von den Immergrünen nur *Quercus ilex* (Stamm 142, Wurzel 184 μ) und *Rosa sempervirens* (Stamm 119 μ), ferner die Sommergrünen *Fraxinus Ornus* und *Pistacia terebinthus*. Unter 50 μ liegen die Durchmesser der Gefäße bei *Rhamnus alaternus* und *Viburnum tinus* im Stammholz. Meist besitzt das Wurzelholz weitere Gefäße als das Stammholz, was ebenfalls mit Riedel's Feststellungen (1937) an einheimischen Bäumen übereinstimmt. Manche Fälle ergeben allerdings keine Unterschiede im Ausmaß der Gefäßdurchmesser, wie z. B. *Laurus nobilis*. Andere Gehölze weisen sogar ein umgekehrtes Verhältnis auf, so *Olea europaea*, die beiden *Pistacien*-Arten und *Fraxinus Ornus*. Für die drei letzteren ist dies nach den soeben erwähnten Verschiedenheiten im Bauprinzip verständlich.

Nun folgen die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen des Transpirationsstromes. Sie sind in Kurven und Tabellen wiedergegeben. Bei der graphischen Darstellung wurde auf der Abszisse die Zeit, auf der Ordinate die Geschwindigkeit in *cm/h* aufgetragen. Die korrelative Darstellung für die Geschwindigkeit in Stamm und Ast, respektive Stamm und Wurzel, wie sie Huber und Schmidt anwendeten und dadurch ein sehr anschauliches Bild der Geschwindigkeitsverteilung geben konnten, verwendete ich nicht, da so alle jene Messungen, für die keine parallelen Bestimmungen im anderen Organ vorliegen, verloren gingen oder erst wieder auf obige Art dargestellt werden müßten.

Für die Immergrünen ergaben sich die höchsten Werte bei *Lonicera implexa* (Fig. 2). Die Messungen führte ich mit der 4-*cm*-Methode an einem $1^1/_2$ *cm* starken, in eine Eichenkrone 5 bis 6 *m*

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

hochkletternden Exemplar durch. Die maximale Geschwindigkeit mit 320 *cm/h* liegt in jener Höhe, wie sie Huber bei einheimischen zerstreutporigen Bäumen fand. Für eine Liane ist das recht nieder, wenn wir etwa an die Huber'schen Angaben für *Passiflora* denken oder gar die (mit anderer Methode gewonnenen) Werte Coster's (1931) zum Vergleich heranziehen. Ich glaube aber — und dies dürfte recht allgemein für die Macchiengehölze gelten —, daß bei guter Wasserversorgung und entsprechend stär-

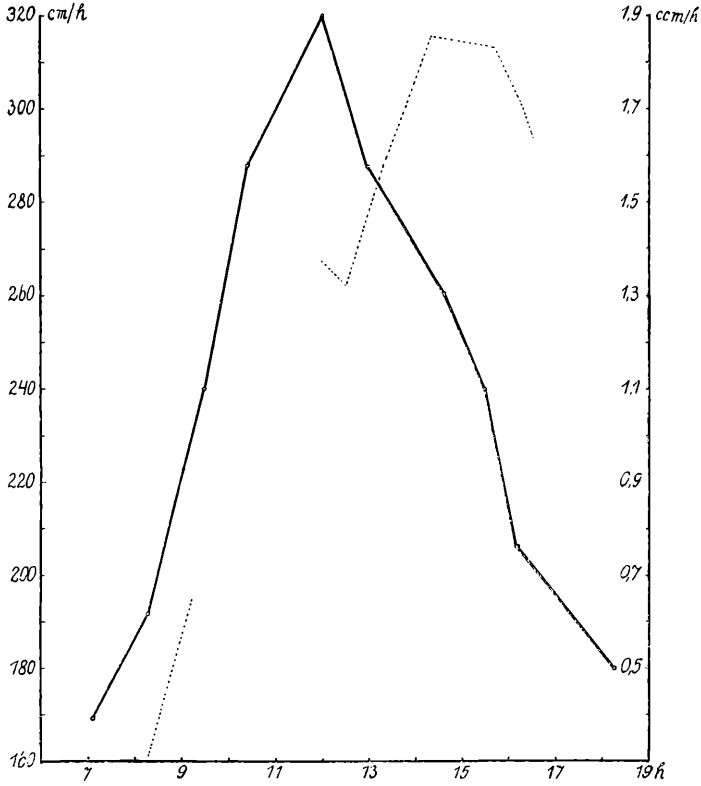

Fig. 2. *Lonicera implexa*, Tagesgang der Geschwindigkeit des Transpirationsstromes im Stamm am 19. August 1936. *E* ( ) = Evaporation.

kerer Transpiration auch die Geschwindigkeit des aufsteigenden Stromes eine Zunahme erfährt.[1] Die Kurve von *Lonicera* ist typisch

[1] Anmerkung während des Druckes: Neuerliche Messungen im regenreichen Frühsommer 1937 bestätigen dies für die meisten Pflanzen. Z. B. *Arbutus Unedo*, max. Geschwindigkeit im Stamm 150 *cm/h*, im Zweig 251 *cm/h*, in der Wurzel 144 *cm/h*. *Laurus nobilis*, Stamm 306 *cm/h*, Zweig 388 *cm/h*, Wurzel 269 *cm/h*. *Olea europaea*, Stamm 268 *cm/h*, Zweig 197 *cm/h*, Wurzel 148 *cm/h*. *Spartium junceum*, Stamm 108 *cm/h*. *Fraxinus Ornus*, Stamm 778 *cm/h*. *Quercus* hat ähnliche Geschwindigkeiten wie im Hochsommer 1936.

eingipflig und gleicht in ihrem Verlaufe sehr der Transpirationskurve. Das Transpirationsmaximum wird aber etwas früher erreicht.

Nur um weniges geringer ist die Geschwindigkeit der *Steineiche* (Fig. 3). Auch bei dieser gelang es, die Werte sicher mit der

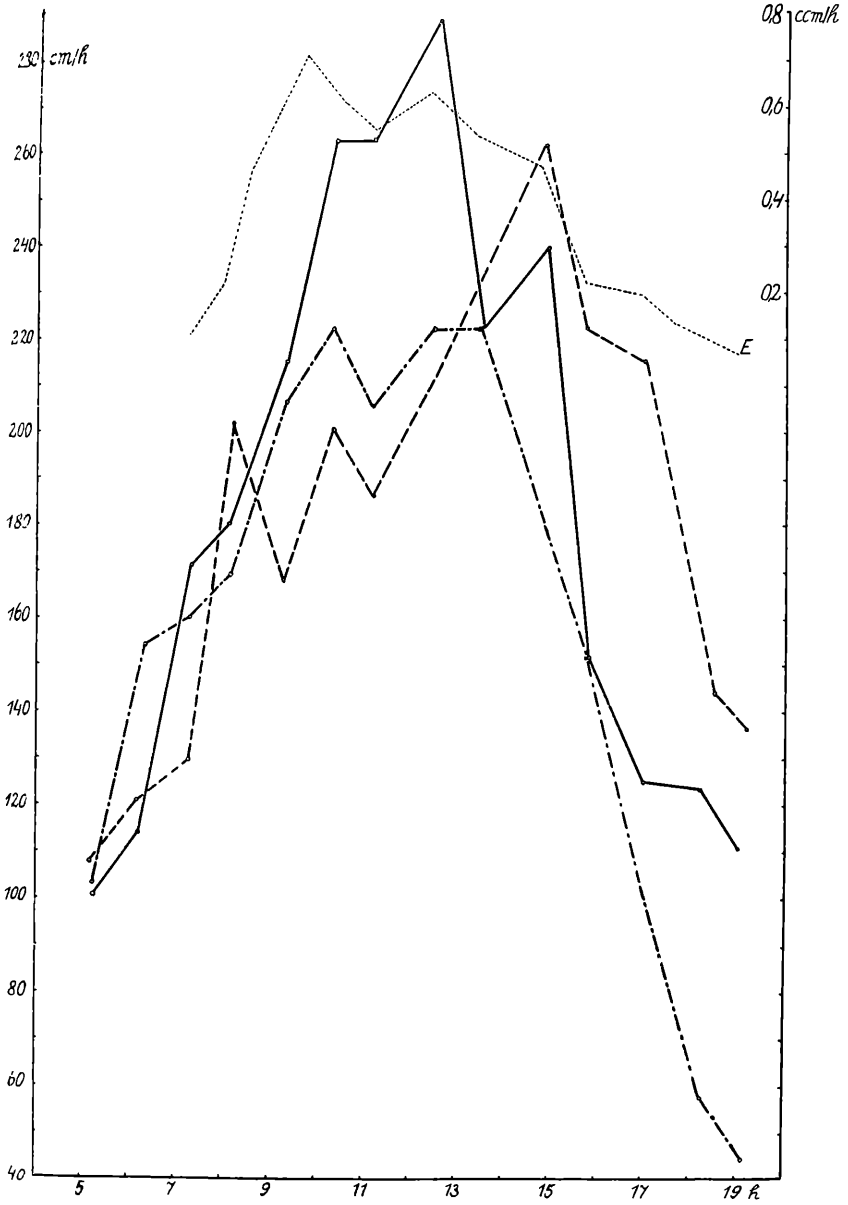

Fig. 3. *Quercus ilex*, Geschwindigkeit des Transpirationsstromes in Stamm (—), Zweig (– – –) und Wurzel (– – –) am 17. August 1936.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

4-*cm*-Methode zu erfassen. Die niederen Werte am Morgen und Abend wurden allerdings, da der Wind störte, mit der Kompensationsmethode ermittelt. Zwischen 5 Uhr und 6 Uhr früh liegen die Geschwindigkeiten im Stamm knapp über 1 *m/h* und nehmen nur langsam um diese Zeit zu. Die Strömung im Zweig steigt rascher an. Erst um 7 Uhr übertrifft die Strömungsgeschwindigkeit des Stammes die des Zweiges und bleibt von nun an fast durchgehend höher als diese. Die schwache, mittägliche Depression, wie sie im Zweig in Erscheinung tritt, kam weder im Stamm noch in der Wurzel zum Ausdruck. Die Geschwindigkeitskurve der Wurzel ist in großen Zügen der des Stammes recht ähnlich, doch etwas niedriger. Auch ist das Maximum gegenüber dem der Stammkurve verspätet. Abends sinkt die Geschwindigkeit des Zweiges am stärksten, etwas schwächer die des Stammes, viel weniger die der Wurzel.

Anschließend sei *Laurus nobilis* besprochen (Tab. 2).

Tabelle 2.

Zeit	Sonnenintensität	Geschwindigkeit in *cm/h* im Stamm
7. VIII.		
5·00	S_0	35·8
6·27	S_1	70·1
7·59	»	88·0
10·06		110·1
15·40		121·4
17·33	S_{2-3}	100·1
19·30	S_0	70·1
22·20	»	30·1

Bei *Laurus* waren, wie ich bereits andeutete, die Schwierigkeiten bei der Einrichtung der Meßstellen sehr groß. Ich verfüge daher bloß über den einen vollständigen Tagesgang der Stammmeßstelle. Der Geschwindigkeitsgang weist ein sehr breites Maximum auf und gleicht dem Gange der Evaporation sehr (die Transpiration wurde nicht parallel gemessen). Das Maximum betrug um 15·40 Uhr 121·4 *cm*. (Ein Mittagswert, der wahrscheinlich höher gelegen wäre, fehlt leider,)

Ganz ähnlich wie für *Laurus* sind die Ergebnisse bei *Nerium Oleander* (Tab. 3). *Nerium* kommt zwar in der istrianischen Macchie nicht wild vor, ist aber in den Gärten in sehr schönen Exemplaren zu finden.

Gemessen wurde die Geschwindigkeit im Stamm und in 1 bis $1^1/_2$ *cm* starken Zweigen. Während die Strömungsgeschwindigkeit im Stamm auch zeitlich früh und spät abends noch 40 bis 60 *cm/h* beträgt, sinkt sie im Zweig im Laufe der Nacht so stark ab, daß vor Sonnenaufgang der Strom nahezu still steht. Das Maximum ist für Stamm und Zweig ähnlich (147 und 152 *cm/h*). Der Geschwindigkeitsanstieg und -abfall am Morgen, respektive Abend ist im

Tabelle 3.

Zeit	Sonnenintensität	Geschwindigkeit in *cm/h*		
		im Stamm	im Zweig	
3. VIII.				
4·38	S_0	49·3		
5·27	»	44·6		
7·15	S_1	52·2		
7·43	S_2	55·0		
9·31	S_3	63·0		
9·41	S_4	88·1		
11·17		112·2		
16·26	»	102·2		
17·05	S_3	72·2		
19·48	S_0	63·0		
4. VIII.				
7·20	S_1	63·0		
11·30	S_4	115·7		
11·45		147·0	152·5	
12·17		—	141·2	
13·00	»	115·7	96·7	
19·40	S_0	63·0	—	
5. VIII.			Zweig *a*	Zweig *b*
4·40	S_0	36·9	2·0	3·0
7·05	S_1	63·0	26·7	29·7
8·48	S_3	83·1	106·7	77·7
11·35	S_4	112·2	110·3	101·7
14·54		102·2	103·0	81·7
18·36		63·0	28·5	49·6

Zweig bedeutend steiler als im Stamm, gegeben durch die größere Differenz der Maxima und Minima derselben.

Juniperus oxycedrus (Tab. 4), *Phillyrea media* (Fig. 4) und *Olea europaea* (Tab. 5) reihen sich ihren Maximalgeschwindigkeiten

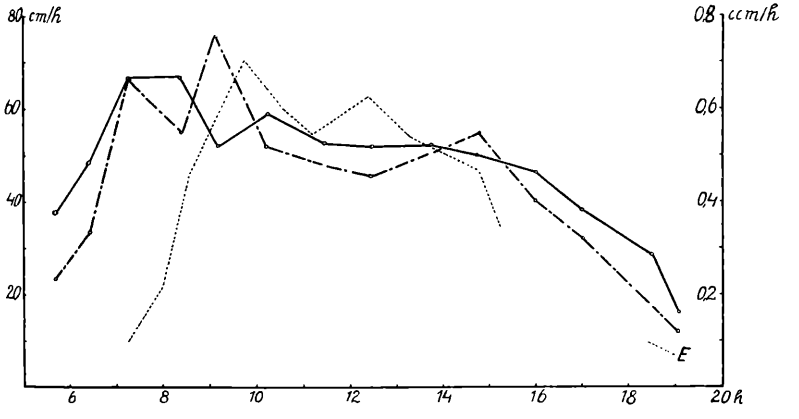

Fig. 4. *Phillyrea media*, Geschwindigkeit des Stammes (—) und Zweiges (- - -) am 17. August.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 4.

Zeit	Sonnen-intensität	Geschwindigkeit in *cm/h*		
		im Stamm	im Zweig	in der Wurzel
19. VIII.				
5·37	S_0	21·8	3·8	34·8
6·47	S_4	56·1	21·8	48·6
7·55	»	79·4	41·0	78·6
9·34		94·4		80·2
10·27		86·4		80·2
11·22		81·2		95·2
13·00		81·0		71·2
14·20		94·4		67·3
16·18	»	90·5		61·2
17·35	S_2	73·2		58·0
18·55	S_0	57·2		44·7
22. VIII.				
5·40	S_0	30·4	10·8	36·7
6·35	S_4	50·4	18·4	51·2
7·34	»	62·7	23·7	61·2
8·35		71·6	28·0	63·6
9·52		88·4	50·4	83·6
11·20		84·5	28·0	53·0
12·51		84·5	37·0	61·2
14·12		86·4	35·9	55·9
16·15		81·2	28·0	55·9
17·29	S_3	67·6	20·0	55·0
18·34	S_1	60·4	18·4	49·4

Tabelle 5.

Zeit	Sonnenintensität	Geschwindigkeit in *cm/h*	
		im Stamm	in der Wurzel
22. VIII.			
5·27	S_0		6·2
6·48	S_{1-2}	27·8	18·2
7·33	S_4	61·0	22·4
8·48	»	72·0	34·7
9·42		59·4	52·3
11·39		54·8	25·4
12·45		50·6	24·3
14·30		54·2	24·3
16·06		48·0	38·4
17·40	S_2	36·7	25·2
18·25	S_0	15·8	22·4

gemäß den vorhergenannten Pflanzen an. Habituell gleichen sich die Kurvenbilder der drei Pflanzen sehr. Sie weisen im Laufe des Vormittags ein Maximum auf, dem eine allmähliche, schwache Verminderung und eventuell ein leichter nachmittäglicher Anstieg der Geschwindigkeit nachfolgt. Erwähnt sei im einzelnen, daß bei *Juni-*

perus die Geschwindigkeit im Stamm und in der Wurzel recht ähnlich ist — in der Wurzel liegt sie etwas höher —, die des Astes ist hingegen deutlich kleiner.

Bei *Phillyrea* (6 *cm* starker Stamm, fingerdicker Zweig) betrugen die Maxima der Strömungsgeschwindigkeit 67, respektive

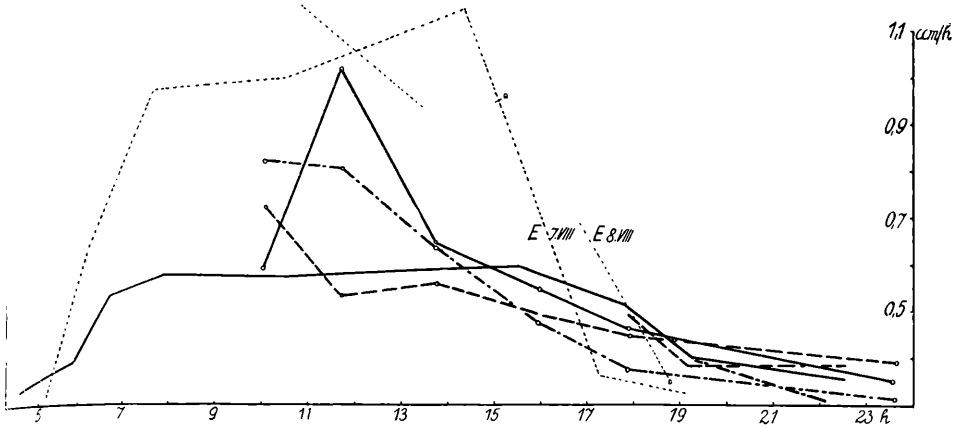

Fig. 5. *Spartium junceum*, Tagesgänge vom 7. August (— = Stamm, - - - = Zweig, - - - = Wurzel) und 8. August (o—o, o- - -o, o- -o).

76 *cm/h*. Evaporation und Transpiration waren am Versuchstag nicht maximal. Bei höherer Evaporation ist speziell bei *Phillyrea* mit einer höheren Geschwindigkeit des Stromes zu rechnen, da die Spalten stets weit geöffnet sind und somit die Transpirationsinten-

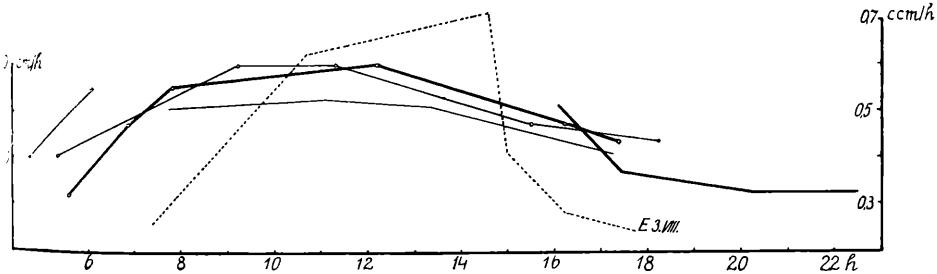

Fig. 6. *Arbutus Unedo*, Geschwindigkeitsmessungen im Stamm. —— = 2. August, o——o = 3. August, —— = 4. August, o——o = 5. August, x——x = 7. August.

sität mit der Evaporation stark ansteigt. Besonders ist dies bei genügender Bodenfeuchtigkeit zu erwarten.

Das Maximum wird bei *Olea* im Stamm schon vor 9 Uhr erreicht und beträgt 72 *cm/h*, in der Wurzel eine Stunde später mit 52·3 *cm/h*. Beidemal folgt einem erheblichen mittäglichen Rückgang der Geschwindigkeit eine schwache nachmittägliche Zunahme, die wieder zuerst im Stamm und dann in der Wurzel zu einem

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

zweiten, allerdings kleineren, Maximalwert führt. Ob die Geschwindigkeitsdifferenz in Stamm und Wurzel durch die verschiedenen Gefäßweiten erklärt werden kann, ist erst nach vergleichender Prüfung der Leitflächen beider Organe entscheidbar.

Das blattlose *Spartium junceum* (Fig. 5), das in 1 bis $1^1/_2$ *m* hohen Sträuchen die Macchie in großer Zahl bevölkert, ergibt mit Ausnahme einiger stark hervorspringender Maximalwerte (72 *cm/h* im Stamm) durchschnittlich eine Strömungsgeschwindigkeit von nur 30 bis 35 *cm/h* bei voller Besonnung. Nachts sinken die Werte nahezu gegen Null ab, erklärlich aus der fast vollständigen nächtlichen Stillegung der Transpiration. Zwischen der Geschwindigkeit in Stamm, Wurzel und Zweig ist kein wesentlicher Unterschied feststellbar.

Gleich niedrig wie bei *Spartium* ergab sich die Geschwindigkeit im Stamm des *Erdbeerbaumes, Arbutus Unedo* (Fig. 6). Leider verfüge ich nur über eine größere Anzahl von Messungen am Stamm. In diesem ist das Maximum der Strömungsgeschwindigkeit 40 *cm/h* und ist sehr breit gezogen. Vor Sonnenaufgang und spät nachts strömt das Wasser nur 10 *cm/h*, der Strom steht also nahezu still.

Anschließend sei noch auf die Strömungsverhältnisse der beiden sommergrünen Pflanzen *Fraxinus Ornus* und *Pistacia terebinthus* hingewiesen, die in Form kleiner Bäume, respektive in großen strauchförmigen Exemplaren vorhanden waren.

Tabelle 6.

Zeit	Sonnenintensität	Geschwindigkeit in *cm/h*		
		im Stamm	im Zweig	in der Wurzel
12. VIII.				
4·50	S_0	32·5	12·6	25·0
6·19	»	42·8	16·6	37·1
7·22		65·8	30·8	60·0
8·34	S_4	99·0	57·9	119·6
9·42	»	105·0	75·0	166·5
10·55		99·0	65·7	206·5
12·27		99·0	41·8	151·0
15·00		85·9	35·0	151·0
16·55	S_2	79·0	18·6	126·5
17·53				116·5
19·12	S_0	51·0	15·0	69·4
13. VIII.				
6·00	S_0	51·0	30·8	66·5
6·57		69·1		88·5
8·45		79·0		104·9
10·10	S_3	75·0		110·5
12·14	S_4	75·0		92·7
14·55		48·6		110·0
17·05		69·1		116·5
18·04		99·0		104·9
19·18	S_0	47·4		54·3
20·20	»	37·8		37·1

Tabelle

Zeit	Sonnenintensität	Geschwindigkeit in *cm/h*	
		im Stamm	in der Wurzel
12. VIII.			
7·38	S_0	59·1	
8·25	S_1	95·0	
9·54		134·2	
10·45		134·2	
12·55		155·9	115·7
15·20		105·0	76·5
16·30		86·0	62·4
18·07	S_0	55·8	32·5
19·00	»	21·6	12·5
13. VIII.			
5·48	S_0	27·8	18·8
7·12	»	67·0	40·6
8·30	»	89·0	52·7
10·26	S_3	71·2	64·9
11·58	S_4	80·9	52·7
15·08	»	105·0	67·5
16·52		51·0	46·5
18·11	S_{2-3}	41·0	28·4
19·27	S_0	15·6	20·0
20·07	»		13·2

Bei *Fraxinus* ist der Stamm ringporig, die Wurzel zerstreutporig; trotzdem wird die Wurzel rascher durchströmt als der Stamm, obwohl dem Bau gemäß das Entgegengesetzte zu erwarten wäre (vgl. Tab. 6). Der Geschwindigkeitsverlauf ist am 12. August eingipflig, am 13. August leicht zweigipflig (die Transpirationskurve ist beidemal typisch zweigipflig). Das Maximum wird im Stamm mit 105 *cm/h*, in der Wurzel mit 206·5 *cm/h* am 12. August erreicht; der Höchstwert des Zweiges beläuft sich nur auf 75 *cm/h*.

Pistacia terebinthus weist am 12. August — höherer Transpiration gemäß — eine größere Geschwindigkeit des Transpirationsstromes auf als am zweiten Versuchstag (Tab. 7). *Pistacia* zeigt auch die zu erwartende Differenz der Geschwindigkeit in Wurzel und Stamm, so zwar, daß an beiden Tagen erstere um rund 40 *cm/h* langsamer durchströmt wurde als der Stamm. Das Maximum betrug im Stamm 155·9 *cm/h*, das der Wurzel 120 *cm/h*. Die Stammkurve und wahrscheinlich auch die Wurzelkurve ist am ersten Tag typisch eingipflig, am zweiten Versuchstag jedoch zweigipflig, wobei das Maximum und die Depression bei der Wurzel deutlich nachhinken.

Zum Abschluß sei die Frage aufgerollt (vgl. dazu Huber 1935, p. 718), ob wir die immergrünen Macchiengehölze als eine ökologische Gruppe für sich zusammentassen sollen, so wie unsere ringporigen Gehölze einerseits, die zerstreutporigen anderseits ökolo-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

gische Einheiten bilden; oder ob wir sie der Gruppe der laubabwerfenden Zerstreutporigen direkt eingliedern können. Endgültig dürfte dies wohl erst dann zu entscheiden sein, wenn Jahreszyklen oder zumindest auch Frühjahrsbestimmungen der Geschwindigkeit vorliegen (vgl. Fußnote p. 124). Betrachten wir vorläufig nur die ermittelten Sommerwerte (vgl. Tab. 8), so sehen wir für jetzt soviel, daß die Größen der Transpirationsstromgeschwindigkeit mit 0·30 bis 3·20 *m/h* bei Macchienpflanzen und mit 1 bis 6 *m/h* bei sommergrünen Zerstreutporigen unmittelbar aneinanderschließen.

Zusammenfassung.

1. Mit der thermoelektrischen Methode Huber's wurde die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes von immergrünen und sommergrünen Macchiengehölzen untersucht.

2. Während Huber bei ringporigen Sommergrünen Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 45 *m/h*, bei Zerstreutporigen 1 bis 6 *m/h* ermittelte, ergaben sich bei den Macchiengehölzen durchschnittlich geringere Werte. Folgende Tabelle gibt die Geschwindigkeiten in Stamm und Wurzel zur warmen Tageszeit bei hoher Evaporation und Transpiration wieder.

Tabelle 8.

Pflanzen	maximale Geschwindigkeit in *cm/h*	
	im Stamm	in der Wurzel
Lonicera implexa ..	320	—
Quercus ilex	288	262
Nerium Oleander ..	147	152·5
Laurus nobilis	121·4	—
Juniperus oxycedrus	94·4	95·2
Phillyrea media .	67·2	76·0
Olea europaea.....	72·0	52·3
Spartium junceum .	72·0 (29·8)	41·8
Arbutus Unedo	40·0	—
Fraxinus Ornus ...	105·0	206·5
Pistacia terebinthus	155·9	115·7

Die Geschwindigkeiten des Transpirationsstromes der Macchienhölzer schließen sich somit der Größenordnung nach denen unserer einheimischen Zerstreutporigen in absteigender Linie an.

Vorliegende Arbeit — in Rovigno d'Istria durchgeführt — wurde durch eine Subvention der Akademie der Wissenschaften zu Wien ermöglicht. Der hohen Akademie und insbesonders dem Vizepräsidenten, Herrn Hofrat Prof. Dr. H. Molisch, spreche ich dafür

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

meinen ergebensten Dank aus. Auf das wärmste danke ich ferner dem Deutschen Direktor der marin-biologischen Station in Rovigno, Herrn Prof. Dr. A. Steuer, der mir einen Arbeitsplatz gewährte sowie mich mit Personal und Mitteln bei meiner Arbeit sehr unterstützte. Ebenso möchte ich Herrn Prof. Höfler herzlich danken für wertvolle Ratschläge und Behelfe.

Literatur.

Baumgartner A., Thermoelektrische Untersuchungen über die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes. Zeitschr. f. Bot., 1934, *28*, 81.

Coster Ch., Die Geschwindigkeit des Transpirationsstromes. Planta, 1931, *15*, 540.

Dixon H. H., The convection of heat and materials in the stem of a tree. Notes from the botanical school of Trinity College, Dublin, 1937, Vol. 4, 269.

Firbas F., Über die Ausbildung des Leitungssystems und das Verhalten der Spaltöffnungen im Frühjahr bei Pflanzen des Mediterrangebietes und der tunesischen Steppen und Wüsten. B. B. C., 1931, *48*, Abt. I, 451.

Huber B., Die Beurteilung des Wasserhaushaltes der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., 1925, *64*, 1.

— Beobachtung und Messung pflanzlicher Saftströme. Ber. d. D. bot. Ges., 1932, *50*, 89.

— Die physiologische Bedeutung der Ring- und Zerstreutporigkeit. Ber. d. D. Bot. Ges., 1935, *53*, 711.

— Fortschritte in der Erforschung pflanzlicher Saftströme. Ebenda, 1936, *54*, 369.

Huber B. und Schmidt E., 1. Weitere thermoelektrische Untersuchungen über den Transpirationsstrom der Bäume. Tharandter forstl. Jahrb., 1936, *87*, 369.

— 2. Eine Kompensationsmethode zur thermoelektrischen Messung langsamer Saftströme. In Vorbereitung.

Riedel H., Bau und Leistungen des Wurzelholzes. Jahrb. f. wiss. Bot., 1937, *85*, 1.

Stocker O., Untersuchungen in der ungarischen Alkalisteppe. Jahrb. f. wiss. Bot., 1933, *78*, 751.

Wiesner J. v., Die Rohstoffe des Pflanzenreiches. 4. Aufl., Leipzig 1927.